

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

具學習能力之智慧型撞球機械人研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-032-006-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：淡江大學機械與機電工程學系

計畫主持人：楊智旭

計畫參與人員：許信允 黃正雄 王添毅

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 23 日

研究目的

本研究的目的是設計並製造一台具有電腦視覺、人工智慧與學習能力的撞球機械人。此機械人能自動的經由電腦視覺判別球桌上所有球的座標位置，透過模糊理論和灰色理論等人工智慧控制法則，使其可以正確的選擇所要打擊的子球及目標球袋，並將子球撞進球袋。另外此機械人也可經由訓練來克服一些外在環境的影響，使撞球機械人擁有類似人類「球感」的撞球能力，達到和真人對打的程度，甚至超越人類。

研究方法

球檯上母球、子球及球袋的相關位置資訊，經由 CCD 攝影機抓取，以影像辨識技巧及程式計算後，即可送出命令訊號至機器人執行撞擊動作。在機器人擊球完成後，量測出目標球前進的誤差角度，將結果記錄成資料庫，以供倒傳遞網路做為網路輸入及目標輸出的訓練資料，利用倒傳遞網路學習、記憶的特性，做為機器人的「球感」訓練。當訓練完成後，控制系統可以預測出打擊後的誤差角度，做為打擊角度的修正及打擊力道補償的參考，而訊號誤差補償是以模糊理論來完成。

本文以 Matlab Neural Toolbox 進行網路之訓練，並在 Visual Basic 中建構模糊系統，其對於大角度的擊球效果明顯，經由實驗結果可證實有效提高進球率。而當網路訓練完成後，以模糊系統決定補償訊號，進而完成誤差補償器。最後，完成之類神經模糊補償器直接在控制器接受命令之前配合補償訊號，對擊球命令做出修正，以便能順利完成擊球且進球的動作。

(一) 影像辨識技術

透過 CCD 攝影機將球檯影像擷取後，利用 VB 程式做影像處理，將球檯上的相關資訊經過辨識及幾何關係判斷後，即可送出決策命令至控制器執行擊球動作。

撞球機械人的影像定位是藉由影像的回授，找出球桌上子球、母球與球袋的中心點座標，由於在撞球的過程當中六個球袋座標是固定的，變動的是球桌上子球與母球的中心座標，所以快速精準的找出球的中心座標值對以後撞球機械員的策略判斷是非常重要的，而機械撞球員的顏色搜尋是利用 R、G、B 三種顏色的不同顏色值來判斷，所尋找的球是子球或是母球。當機械撞球員將球桌上球的中心與球袋的中心位置找出之後，所得到的資料作為機械撞球員的決策系統與撞擊角度系統的重要輸入依據。

將母球(Cue ball)及子球(Object ball)的中心位置搜尋完成，下一步就是

瞄準預定進球的球袋時，對於球袋的瞄準點一樣可經由影像辨識技巧和幾何關係判斷出，以球檯邊緣之四顆球之球心座標，即可推算出球袋之進球點座標做為擊球之瞄準點。

(二) 誤差分析

由於各種偏差力的交互影響非常複雜且難以計算，若是用力學分析的方法來求出撞擊的偏斜模型不但難以推算，要考慮的因素過多，且對於不容易量測的數據如環境對於球檯布的影響、球的摩擦係數以及球檯的傾斜角度等更是無法考慮周詳。因此利用倒傳遞演算法(Back-propagation network)的記憶特性來彌補，將多種誤差交互作用的結果求出一個誤差推論模型。

(三) 決策系統

機械撞球員決策系統的設計，是要讓機械撞球員可以藉由影像的系統獲得 1. 子球和球袋的距離 2. 球袋，子球與母球三者之間的相對座標當成灰決策兩個效果判斷因子 u_{ij}^p ，再藉由灰決策當中的下限效果測度，與望目效果測度的運算式，正確的判斷出它所要撞擊的目標球袋。

灰決策的設計步驟如下：

步驟一：隨意在球桌內放入一顆母球與一顆子球時，六個球袋在不同指標下樣本值。

步驟二：確定事件、對策、局勢、目標、樣本。

步驟三：對效果樣本作效果測度處理

步驟四：決策

當灰決策系統得知所要打的球袋之後，再利用母球，子球及球袋之幾何位置架構模糊系統，並由模糊系統計算出母球撞擊子球的最佳撞擊角度。

(四) 實驗方法

經由 CCD 攝影機及 Meteor stand 影像擷取卡抓取球檯及各球相關位置座標值，以影像辨識技巧經過 PC 以 Visual Basic 程式運算處理計算出子球與母球的中心位置。由幾何碰撞關係上，母球撞擊決策出的子球角度及子球碰撞後的行走方向，並在碰撞後，抓取影像判斷子球實際行走方向，兩者相比較則可計算出子球側偏量。經由實驗而建立誤差資料庫，資料庫以類神經網路訓練後，建立誤差推論模型以修正擊球角度。

結果與討論

本計畫所開發之具有視覺與仿效人類學習能力的撞球機械人已如期設計製造出來，並對機械人的移動作出自動與半自動的控制，再加上影像處理技術，正確的得到球桌上所要撞擊子球的相對位置，並利用具有學習法則的倒傳遞類神經演算法和灰色理論等智慧型演算法來學習並推論出，如何的選擇子球並將子球打進目標球袋，形成撞球的決策。

本研究計畫主要的貢獻如下：

- (1) 實驗設備：成功地架設並整合撞球機器人之軟體及硬體設備，加上人工智慧程式，實現了機器人打撞球的可行性。
- (2) 機械人的決策能力：機械人已擁有自動選擇球袋的能力與在多顆子球下也能正確的判斷出每一顆子球所要進的球袋和分辨出那一顆子球最容易進。
- (3) 機器人學習能力：撞球機器人能在擊球前依據擊球力道、切球的厚薄等資訊來預測目標球進袋的誤差角度，以做適當的調整，賦與撞球機器人適應環境的能力。除此之外，對於硬體造成的固定誤差量也可有效改善。
- (4) 投稿期刊論文一篇： " Grey-Fuzzy Controller Design for a Billiard Robot " , to IEEE Transactions of Fuzzy system, 10, 2003.

撞球機器人系統之雛形已完成，但未來仍希望以此機器人的研究成果為基礎，發展出類似人類之撞球機器人，完成機器人與人類比賽的夢想。在此提出幾個未來研究方向的建議：

- (1) 區域影像系統：增加一個 CCD 攝影機的架設，讓撞球機械人可搜尋出打推桿、拉桿等技術球的撞擊點。
- (2) 擊球的控制：將打擊機構改良成可以讓撞球機械人可以打「推桿」、「拉桿」、「定桿」等技術性的打擊法。
- (3) 網路訓練所需實驗組數太多：由於撞球檯面的水平度及粗糙度不夠均勻，因此實驗時，必須每一個球袋分別訓練以反應球檯面各區域的差異。希望能提出更有系統的實驗方法，使得網路訓練所需要的實驗組數減少，減少實驗的時間。
- (4) 本研究以模糊系統對於預測的誤差角度補償，為單輸入及單輸出之修正，未來希望能改良打擊桿裝置，使撞球機器人對於擊球力道的控制能夠更精準，如此一來除了角度的補償，還可加入力道補償，使得模

糊規則庫更完善以應付未來「做球」決策的需要。

- (5) 本研究之初期目標是以標準球檯六分之一比例縮小的球檯來做實驗，除了建立影像辨識技術及累積機器人設計經驗，也驗證了智慧型控制理論應用於撞球機之適用性。而機器人撞球的相關技術發展成熟後，若是要推廣至大型標準球檯之應用，研究的重點將在於機構的設計及機電整合的部分。目前使用的小型機器人是以前三軸精密移動平台搭載打擊機構，如果放大應用在大型球檯，將很難兼顧精密度及機動性，而且會有耗費經費龐大以及球檯影像擷取被機構擋住的問題，將這些問題解決後，大型球檯之撞球機器人研發將指日可待。

計畫成果自評

我們在這個研究計畫中除了將撞球機械人整體的架構完成外，同時也將影像決策系統與撞擊機構做一系統性的整合。並使用兩種不同的控制法則，針對誤差做補償器的設計。

目前是以標準球檯六分之一比例縮小的球檯來做實驗，除了建立影像辨識技術及累積機器人設計經驗，也驗證了智慧型控制理論應用於撞球機之適用性。在我們目前完成的即時影像處理中，已經可以藉由所得到的影像資訊來快速找出球桌上母球、子球與球袋的中心座標的位置，並藉由所提出來的決策選球袋機制與模糊系統架構撞擊角度的演算方法，讓機械人快速、自動、正確的依照子球與母球的關係找出所要打的球袋與母球所要撞擊子球的角度，並將結果做為機械人在作動時的依據。

就完成度而言撞球機器人系統之雛形已完成，將來機器人撞球的相關技術發展成熟後，若是要推廣至大型標準球檯應用，估計其研究的重點將不離機構設計及機電整合的部分。目前使用的小型機器人是以前三軸精密移動平台搭載打擊機構的機構，如果放大應用在大型球檯，將很難兼顧精密度及機動性等問題，將這些問題解決後，大型球檯之撞球機器人研發將指日可待。

而未來仍希望以此機器人的研究成果為基礎，搭配目前國內正在進行研發的雙足步行機械人，發展出近似人型的撞球機器，以完成機器人與人類比賽的夢想。